

Labor Produktionsautomatisierung und Entwicklungen zu einer Testumgebung Industrie 4.0

Prof. Dr.-Ing.habil. Andreas Nestler, Dipl.-Ing. Frank Arnold, Dipl.-Ing. Eric Wenkler, Dipl.-Ing. Albrecht Hänel

1 Labor Produktionsautomatisierung – Rückblick und Motivation

Zur Unterstützung spezieller Anforderungen aus der Prozesskette der spanenden Teilefertigung entstand vor Jahren in Eigeninitiative das Labor Produktionsautomatisierung. Die Erstausrüstung mit einem Server-Arbeitsplatz diente zunächst der Effektivierung von informationstechnischen Abläufen und softwaretechnischen Erfordernissen für Lehre und Forschung (Datenbereiche und „Austauschlaufwerk“ für Mitarbeiter; spezielle Software-Installationen wie das Datenbankmanagementsystem SQLBase und die 4GL-Entwicklungsumgebung Gupta Team Developer, das NC-Programmiersystem EXAPTsolid, die Software GIB CAD&CAM u.ä.). Darüberhinaus entstanden im Ergebnis abgeschlossener Forschungsarbeiten Eigenentwicklungen, Pilotlösungen/Demonstratoren wie z.B.

- Technologie- und Erfahrungsdatenbank,
- Softwaretool zur Verwaltung von KNN-Anwendungsfällen,
- Selbstlernmodul für Technologie- und Prozessparameter,
- STEP-NC Interpreter,
- Flexible Monitoring and Control (FlexMC) zur Prozessdatenerfassung und
- agentenbasierte Szenarien zur Beschaffung von Prozessdaten.

Parallel dazu wurde zunächst eine Fünffachs-Laborfräsmaschine aufgebaut und mit freundlicher Unterstützung der Firma andronic mit CNC-Steuerungskomponenten ausgerüstet. In der Folge entwickeln sich daraus immer wieder nützliche technische Modifikationen (Abbildung 1) für unterschiedlichste Aufgabenstellungen wie z.B.

- NC-Kern zur realitätsnahen Zerspanungssimulation („Abtragsimulation“)
- Hardware in the Loop (HiL) Lösungen für virtuelle Bearbeitungszentren,
- Teststrategien für CNC-Software oder
- Manufacturing Execution System (MES) basierte Kennwertermittlung.



Abbildung 1: Fünffachs-Modellfräsmaschine mit andronic 2060 (links); Dreiachs-Modellfräsmaschine mit andronic 3060 (rechts)

Prozessrelevante Systeme und Daten gewinnen für die Planung zunehmend an Bedeutung. Aus aktuellen Entwicklungen und zukünftigen Anforderungen /NES-18/

abgeleitet, ist das Labor Produktionsautomatisierung zu einer „Testumgebung Industrie 4.0“ weiter auszubauen. Damit sind Voraussetzungen für die Bearbeitung neuer Themen zur Anwendung von Prozessdaten in der Prozesskette zu schaffen.

2 Aufbau einer Testumgebung und konzeptionelle Schritte

Es sind Grundlagen für eine wissenschaftliche Plattform zu entwickeln, mit der Konzepte, Methoden und Technologien für die Fertigung im Sinne von Industrie 4.0 erprobt und kombiniert werden können. Erste Arbeiten erfolgen im Rahmen der Prozessdatengewinnung der spanenden Teilefertigung, zunächst überwiegend für die Fräsbearbeitung. Ausgangspunkt ist ein konzipiertes Testwerkstück und die Laborfräsmaschine mit der CNC andronic (Abbildung 2). Vorhandene Hard- und Softwarekomponenten der technischen Prozesskette sind so zu erweitern, dass Forschungsarbeiten zum digitalen Prozesszwilling unterstützt werden können.

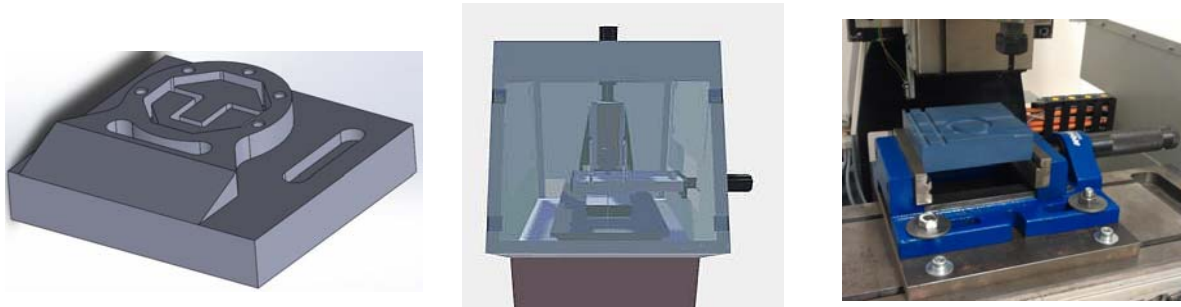


Abb. 2: Werkstück-Modell (lks.), virtuelle Labormaschine (Mitte) und reale Bearbeitung (rts.)

Aufbauend auf vorliegenden Untersuchungen zur Kommunikationsschnittstelle SERCOS wurde u.a. ein Konzept erarbeitet, wie die CNC andronic mit der Kommunikationsschnittstelle OPC-UA¹ zur automatisierten Datenübertragung nach außen in die Systemumgebung erweitert werden kann (Abbildung 3) /LEV-18/.

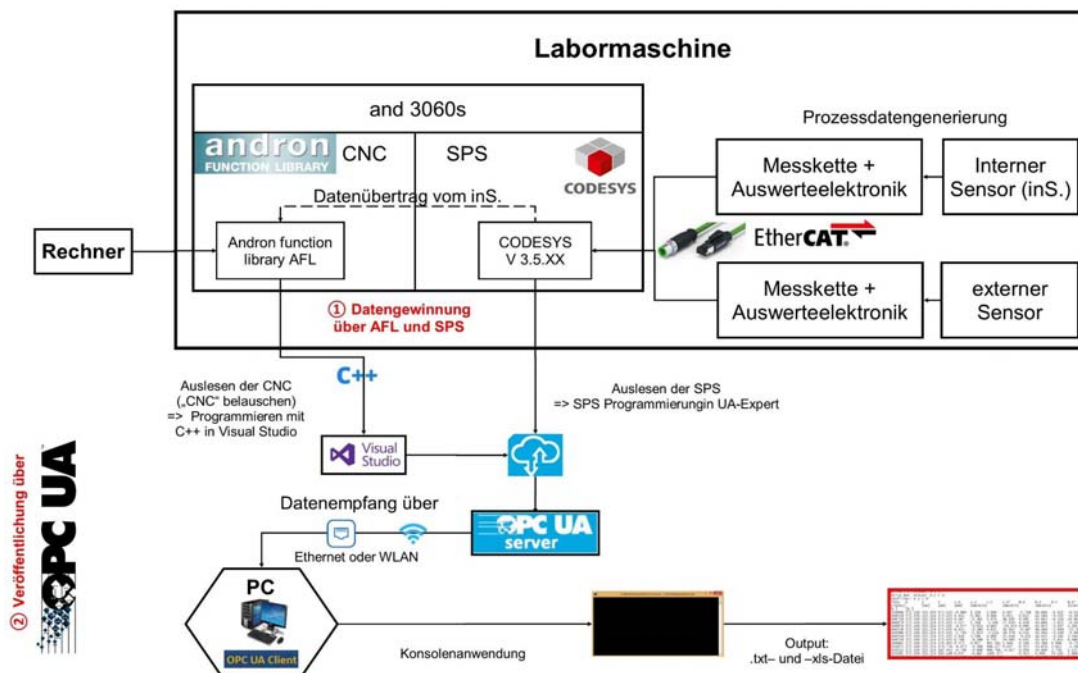


Abbildung 3: Konzept zur Datenübertragung andronic CNC - OPC UA-Server /LEV-18/

¹ OPC Unified Architecture - Teil 8: Zugriff auf Automatisierungsdaten (IEC 62541-8:2015); Englische Fassung EN 62541-8:2015 (Foreign Standard)

Weitere Voruntersuchungen für das Fräsen konzentrierten sich auf die Auswahl relevanter Prozessdaten für die spanende Teilefertigung und die Prozessdatengewinnung an der Maschinensteuerung, insbesondere unter dem Aspekt des Einsatzes von externer und interner Sensorik /SAN-18/.

3 Virtuelle Werkzeugmaschinen für virtuelle Fertigungsstätten

Virtuelle Werkzeugmaschinenmodelle können als Bestandteil in einer Testumgebung z.B. die Überprüfung und Fehlererkennung oder die Auslegung und Optimierung von Abläufen unterstützen. Bereits seit Jahren sind virtuelle Bearbeitungsmaschinen elementare Objekte für planungsorientierte Forschungsaufgaben im Rahmen der Produktionsautomatisierung. Die bisher erarbeiteten Lösungen finden mit aktuellen Projektarbeiten ihre Anwendung und Weiterentwicklung. Nach langjährigem Einsatz des Visualisierungssystems EON-Studio², z.B. zur Erstellung von virtuellen Werkzeugmaschinen und abgeleiteten VR- und Desktop-Anwendungen für die Anwendungsdomäne der Fertigungsplanung, wird aktuell für erweiterte Anwendungsszenarien die Entwicklungsumgebung Unity³ erprobt.

Im Rahmen einer prototypischen Realisierung einer Lernplattform mit computervermittelter Realität zu Planungs- und Produktionsprozessen kommt eine plattformübergreifende Game-Engine mit einer aus der Spieleentwicklung stammenden Technologie zum Einsatz. Unity ermöglicht Modelle mit physikalischen Eigenschaften für Simulationen in 2D und 3D. Auch die Erstellung und Steuerung von interaktiven Abläufen im Zusammenhang mit unterschiedlichsten Medien wie Grafik, Video, Animation wird unterstützt. Damit lassen sich für Lehr- und Lernaufgaben die Welt der interaktiven 3D-Simulation mit den Anforderungen der digitalen Produktionstechnik verbinden (Abbildung 4).

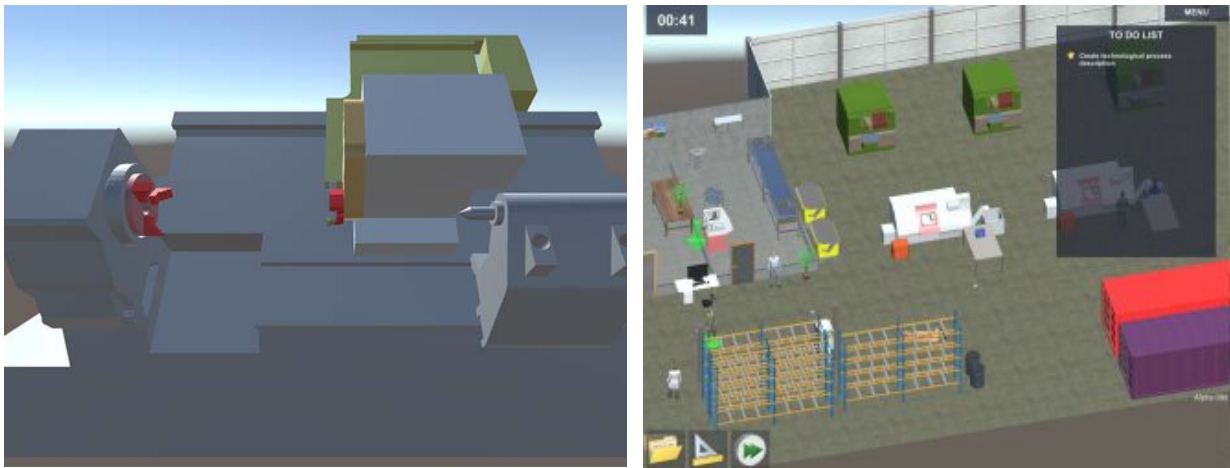


Abbildung 4: Game-Technologien für die virtuelle Fertigungsplanung und -steuerung (Bilder: POKROK.digital)

Als weitere Grundlage zur Steuerung virtueller Maschinenmodelle wurde auf Basis der Laufzeit- und Entwicklungsumgebung von Unity ein Softwaremodul entwickelt, der sich an Konzepten realer Steuerungen orientiert. Die Software ist frei konfigurierbar und bietet die Möglichkeit, Maschinenmodelle mit beliebiger Anzahl von Achsen zu steuern /SCH-18/.

² <http://www.eonreality.com>

³ <http://unity3d.com>

4 Modellbasierte Regelkreise, Kennwertermittlung und intelligente Softwaretechnologien für Bearbeitungsprozesse

Die Hard- und Softwareausstattung des Labors Produktionsautomatisierung und die Möglichkeiten zur Konfiguration einer Testumgebung sowie zur Testdurchführung und -auswertung beeinflussen u.a. aktuelle Schwerpunktthemen zur Anwendung von Prozessdaten und auch für artverwandte Forschungsarbeiten, wie

- Regelkreis zur Bewertung der Qualität eines laufenden Bearbeitungsprozesses beim Fräsen /ARN-17/
 - Basis sind Auslastungsinformationen der Vorschubantriebe und Hauptspindel,
 - Anwendung von Zerspankraftmodellen und
 - aktiven Beeinflussung des laufenden Zerspanungsprozesses durch Regelung über Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeit.
- Kontinuierliche Kennwertermittlung für Schnittkraftberechnungen /WEN-18a/ /WEN-18b/ /WEN-18c/
 - Maschinendatenerfassung und Berechnung der spezifischen Schnittkraft,
 - maschinelles Lernen mit kontinuierlich sich erweiternder Datenbasis und
 - Anwendung zur Prozesssimulation schnittkraftabhängiger Restriktionen.
- Diagnose von Schleifwerkzeugen auf der Basis von empirisch ermittelten Prozesskräften /WEI-18/
 - Weiterentwicklung der Software „Komplexe Schleifwerkzeugdiagnose“ und
 - Ergänzung eines empirischen Prozessmodells auf Basis einer multiplen Regressionsrechnung mit einem neuronalen Modell auf der Basis von Prozessdaten.

Die daraus resultierenden Erkenntnisse, auch an die Weiterentwicklung der Testumgebung, sind mit der Erforschung von prozessdatenbasierten Regelkreisen, insbesondere in Verbindung mit der Anwendung intelligenter Softwaretechnologien, zu formulieren.

5 Digitaler Prozesszwilling

Das vielschichtige Thema Digitaler Zwilling⁴ wird hier zunächst aus der Sicht Ablaufplanung und Fertigungsprozess betrachtet. Damit soll zu einer möglichst realitätsnahen Simulation von Abläufen auf fertigungstechnischen Einrichtungen beigetragen werden. Das erfordert für die NC-Planung und Bearbeitungssimulation eine neue modellbasierte Entscheidungsunterstützung für mehr Effizienz und Qualität der Soll-Vorgaben. Dazu ist für bekannte mathematische Modelle stärker als bisher das Potential von Daten aus dem realen Prozess zu erschließen und einzubeziehen. Diese Prozessdaten bilden die Grundlage des Informationsmodells zum digitalen Prozesszwilling. Der Schwerpunkt der gewählten Forschung ist dabei nicht die Datenerfassung z.B. über Sensorik und die Rückführung über Aktorik mit allen Konsequenzen der M2M-Kommunikation. Die Herausforderungen der eigenen Arbeiten liegen in der Aufbereitung dieser Daten um daraus neue Informationen und neues Wissen zu generieren, welches dann sowohl für Prozesse der Vorbereitung und Planung als auch für Prozesse der Durchführung der Fertigung einen Mehrwert

⁴ Der Digitale Zwilling ist nicht nur mit Bezug auf ein digitales Objekt (Maschine, Werkzeug, Einzelteil usw.) zu erforschen, siehe u.a. Borchert, S.; Heinrich, C.; Rosen, R.: Next Generation Digital Twin, Proceedings of TMCE 2018, 7-11 May, 2018

erbringt. Als Voraussetzung zur Erreichung dieser Ziele ist wiederum eine labormäßige Hard- und Softwareumgebung hilfreich.

Unter einem digitalen Prozesszwilling wird ein digitales Abbild eines einzelnen Fertigungsprozesses verstanden, der ursächlich auf Planungs- und Prozessdaten basiert und darüberhinaus aber auch die klassischen Werkzeug-, Technologie-, Maschinen- und Werkstückdaten aus der Prozesskette der Teilefertigung mit einbezieht. Eine wesentliche Systemkomponente zum digitalen Prozesszwilling sind neben weiteren Komponenten (Abbildung 5) insbesondere Kraftmodelle und Modelle zur Bewertung der erzeugten Oberflächenqualität. Damit soll erreicht werden, dass kraftmodellbasierte Komponenten zu technisch-technologisch begründeten Planungsergebnissen beitragen. Gegenstand der aktuellen Entwicklung sind angepasste Schnittkraftmodelle auf Basis von Prozessdaten der Fräsbearbeitung /HAE-18/.

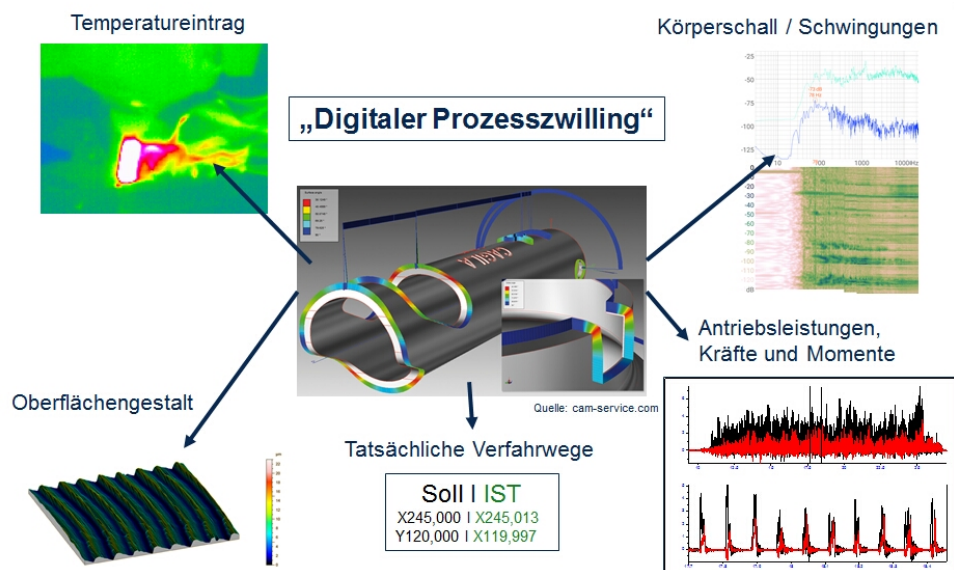


Abbildung 5: Forschungsschwerpunkt Prozesszwilling (Bild: AeroCut4.0)

Das Thema digitaler Prozesszwilling beinhaltet Forschungsarbeiten zu Informationsmodellen und Informationssystemen im Zusammenhang mit Teilaufgaben wie u.a.

- Analyse des Planungs- und Fertigungsprozesses,
- weitgehend nebenläufigen Aufzeichnung und Erstellung eines digitalen Abbildes,
- Vergleich von SOLL- und IST-Zuständen,
- Integration von Modellen zur Ermittlung zerspanungsrelevanter Einflussgrößen (Schnittkraft, Oberflächenrauheit, ...),
- systematische Verbesserung von Prozessen sowie
- Dokumentation des Fertigungsprozesses.

6 Ausblick

Intelligente Softwaretechnologien, als der Treiber und eine Grundvoraussetzung für intelligente Produktionssysteme, kommen immer stärker in die Phase der anwendungsorientierten Umsetzung in der Produktion. Das zeigt auch die Mitarbeit im Innovationsnetzwerk InPro, das mit dem Zweck gegründet wurde, kleine und

mittelständische Unternehmen zu unterstützen. Für die Umsetzung sollen insbesondere Technologien eingesetzt werden, die sich unter dem Begriff „Industrie 4.0“ zusammenfassen lassen /InPro-18/.

Als Voraussetzung für das Mitwirken an diesen Forschungsarbeiten ist der Ausbau einer labormäßigen Testumgebung förderlich. Aus den eigenen Forschungsarbeiten, z.B. im Rahmen von InPro, wird das überdurchschnittlich große Forschungspotential deutlich, für dessen Erschließung an der TU Dresden mit dem Fachgebiet Produktionsautomatisierung und Fertigungsinformatik eine solide zukunftsorientierte Grundlage vorhanden ist.

Literatur

- /ARN-17/ Arnold, F.: Entwicklung einer Vorschub- und Drehzahlregelung auf Basis des Zerspankraftmodells nach Kienzle. Forschungsergebnisbericht 2017 der Arbeitsgruppe Produktionsautomatisierung, Zerspan- und Abtragtechnik. TU Dresden, 2017, S. 18-22
- /HAE-18/ Hänel, A.: Konzeption eines digitalen Prozesszwillings auf Basis von Planungs- und Prozessdaten bei der Fräsbearbeitung von Bauteilen der Luft- und Raumfahrtindustrie. In: Nestler, A. (Hrsg.): Digitalisierung und Vernetzung von Systemen und Prozessen der spanenden Teilefertigung. Vortragsband zum 21. PAZAT-Fachkolloquium am 28.09.2018. Dresden: Selbstverlag TU Dresden, ISBN 978-3-86780-580-3
- /InPro-18/ Intelligente Produktionstechnologien in der Umsetzung. Pressemitteilung, Hamburg, 08.02.2018
- /LEV-18/ Levochkin, A.: Aufbau einer Testumgebung zur Erforschung des digitalen Abbildes realer Prozesse zur Fräsbearbeitung. Beleg zum Forschungspraktikum, TU Dresden, 2018
- /NES-18/ Nestler, A. (Hrsg.): Digitalisierung und Vernetzung von Systemen und Prozessen der spanenden Teilefertigung. Vortragsband zum 21. Fachkolloquium am 28.09.2018, Dresden: Selbstverlag TU Dresden, ISBN 978-3-86780-580-3
- /SAN-18/ Sander, M.: Prozessdatengewinnung an der Maschinensteuerung für das Fräsen. Beleg zum Forschungspraktikum, TU Dresden, 2018
- /SCH-18/ Schnellhardt, T.: Entwicklung von Kernfunktionen einer Steuerung für virtuelle Maschinen zur Dreh- und Fräsbearbeitung. Beleg zum Forschungspraktikum, TU Dresden, 2018
- /WEI-18/ Weibin, Z.: Entwicklung eines Softwaremoduls für die Anwendung von Künstlichen Neuronen Netzen (KNN) bei der Diagnose von Schleifwerkzeugen auf der Basis von empirisch ermittelten Prozesskräften. Beleg zum Forschungspraktikum, TU Dresden, 2018
- /WEN-18a/ Wenkler, E.: Entwicklung einer Software zur intelligenten Zerspanungskennwertermittlung als Grundlage für Planungs- und Simulationssysteme zur Erschließung von Leistungsreserven. Schlussbericht AIF/ZIM, Dresden, 19.03.2018
- /WEN-18b/ Wenkler, E.; Arnold, F.; Hänel, A.; Nestler, A.; Brosius, A.: Intelligent characteristic value determination for cutting processes based on machine learning. 12th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, 18-20 July 2018, Gulf of Naples, Italy. ScienceDirect, Procedia CIRP 79 (2019) 9-14
- /WEN-18c/ Wenkler, E.: Kontinuierliche Kennwertermittlung zur Prognose von Schnittkräften. In: Nestler, A. (Hrsg.): Digitalisierung und Vernetzung von Systemen und Prozessen der spanenden Teilefertigung. Vortragsband zum 21. PAZAT-Fachkolloquium am 28.09.2018. Dresden: Selbstverlag TU Dresden, ISBN 978-3-86780-580-3